

Pengaruh Kandungan Grafit Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Pada Komposit Al-Si/Grafit

Lilik Dwi Setyana dan M. Waziz Wildan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UGM
Jl. Grafika No 2A, Yogyakarta

Abstract

This research aims to investigate the effect of graphite contents on physical and mechanical properties of Al/graphite composites. The composites were produced using powder metallurgy (PIM) method. The materials used in this research were Al-Si alloy powder as the matrix and graphite powder as the reinforcement. The Al-Si alloy powder with irregular shape and particle size $< 149 \mu\text{m}$ was produced by mechanical grinding method. Graphite powder particle is fine powder. The various contents of graphite were 0, 2.5, 5, 7.5 and 10% weight. Each composition was uniaxially compacted with a pressure of 500 MPa to produce green bodies. The green bodies were then sintered at 550°C for 5 hours in graphite environment.

Density of specimens was measured using Archimedes method. Optical microscope and SEM were used to observe the microstructures. EDX and XRD were used to analyze the elements or phase in the specimens. Mechanical properties of the specimens including Brinell hardness, modulus of rupture, wear resistance and radial crush strength of bushing components were also tested.

The results of the research show that relative density, Brinell hardness, modulus of rupture and wear resistance of the composites increase with increasing graphite content up to 5% weight. The maximum value of relative density of 90%, Brinell hardness of 42.15 BHN and wear factor of $0.06 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ were achieved on the composites containing 5% weight of graphite. On the other hand, the MOR and radial crush strength of the composites decrease with increasing graphite content, the maximum of MOR of 42.02 MPa and radial crush strength of 10.5 MPa were obtained on Al-Si alloy without graphite reinforcement.

Keywords: Al-Si/graphite composites, powder metallurgy, graphite

1. Pendahuluan

Aluminium merupakan material yang banyak digunakan pada berbagai komponen mesin terutama dalam bentuk paduan karena berbagai keunggulan sifatnya dibanding material lain. Beberapa keunggulan aluminium adalah tahan korosi, ringan, konduktifitas listrik baik, konduktifitas panas baik dan sifat dekoratif. Salah satu upaya untuk mengatasi kelemahan tersebut dan meningkatkan sifat-sifat lainnya dapat dibuat komposit matrik aluminium.

Paduan aluminium sebagai matrik dan partikel grafit sebagai penguat, merupakan komposit logam

yang dapat dibuat dengan metode metalurgi serbuk. Keuntungan metalurgi serbuk adalah pembuatan komponen relatif lebih murah, produk yang dihasilkan langsung dapat digunakan dengan sedikit proses permesinan dan dapat diproduksi dalam skala kecil maupun massal.

Chu dkk (2001) melakukan penelitian komposit campuran serbuk paduan Al-6061 dengan serbuk grafit, yang dikompaksi panas (*hot pressing*), kemudian dilakukan ekstrusi. Hasil penelitian menunjukkan partikel grafit yang halus terdistribusi merata dalam matrik. Grafit bereaksi in-situ dengan Al matrik membentuk dispersi halus

partikel Al_4C_3 selama *solution treatment*. Fase Al_4C_3 memberikan efek penguatan terhadap matrik Al.

Silvain dkk (2003) meneliti komposit Cu/C/Al, pada interface Al/C terjadi reaksi antara Al dan serat C membentuk Al_4C_3 yang mereduksi ukuran serat C selama proses perlakuan panas. Al_4C_3 sifatnya keras dan rapuh sehingga harus dihindari. Untuk menghindari terbentuknya reaksi pada interfase Al/C, serat karbon dilapisi oleh Cu secara elektrokimia. Hasil penelitian menunjukkan pada pemanasan suhu $600^\circ C$ selama 96 jam lapisan Cu dapat mencegah terbentuknya Al_4C_3 .

Arik dan Bagci (2003) meneliti komposit matrik aluminium powder yang diperkuat dengan 3% berat grafit yang dikompaksi dengan variasi tekanan (400, 500, 600 dan 700 MPa), kemudian disinter dengan variasi suhu (500, 600, 650, dan $700^\circ C$) selama 5 jam dalam lingkungan gas argon. Hasil analisa XRD menunjukkan adanya fase Al, Al_2O_3 dan Al_4C_3 pada spesimen hasil sinter. Hasil pengujian kekerasan dan *transverse rupture strength* meningkat dengan bertambahnya suhu sinter dan tekanan kompaksi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan grafit pada pembentukan komposit logam Al-Si/grafit terhadap sifat fisis dan mekanisnya yang dibuat dengan proses metalurgi serbuk dan disinter secara *pressureless sintering*.

2. Fundamental

Komposit adalah gabungan material yang terdiri dari dua atau lebih komponen material penyusun, baik secara mikro ataupun secara makro yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya. Dengan penggabungan tersebut akan diperoleh material baru yang memiliki sifat fisis dan mekanis yang berbeda penyusunnya.

Berat jenis aktual komposit dapat ditentukan dengan hukum Archimedes yaitu dengan mengukur berat spesimen di udara dan berat di dalam fluida (Barsoum, 1997):

$$\rho_c = \frac{W_{udara}}{(W_{udara} - W_{fluida})} \rho_{fluida} \quad (1)$$

keterangan :

W_{udara} = berat spesimen di udara (gr)

ρ_c = densitas komposit (gr/cm^3)

W_{fluida} = berat spesimen di air (gr)

ρ_{fluida} = densitas fluida (gr/cm^3)

Tegangan maksimum terhadap beban bending yang diuji dengan *four point bending* dinyatakan sebagai *modulus of rupture* (σ_{MOR}), yang ditentukan dari persamaan sebagai berikut (Green, 1998):

$$\sigma_{MOR} = \frac{3(S_1 - S_2)}{2BW^2} F_{fail} \quad (2)$$

keterangan :

F_{fail} = beban bending maksimum (kg)

S_1 = jarak antar beban (mm)

S_2 = jarak antar tumpuan (mm)

σ_{MOR} = *modulus of rupture* (kg/mm^2)

W = tebal spesimen (mm)

B = lebar spesimen (nun)

3. Metodologi

Serbuk aluminium yang digunakan diperoleh dengan cara pengikisan, kemudian dilakukan proses sieving sehingga diperoleh distribusi serbuk dan diambil serbuk dengan ukuran $< 149 \mu m$ untuk penelitian. Serbuk ditambah grafit dengan variasi 0, 2.5, 5, 7.5 dan 10% berat. Masing-masing campuran dikompaksi 500 MPa kemudian disinter dengan suhu $550^\circ C$ dalam lingkungan grafit selama 5 jam.

Pengujian meliputi densitas, kekerasan, bending, XRD dan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik maupun SEM.

4. Hasil dan Pembahasan

Data Hasil Pengujian komposisi Serbuk Aluminium

Hasil pengujian komposisi paduan aluminium dapat dilihat pada Tabel 1.

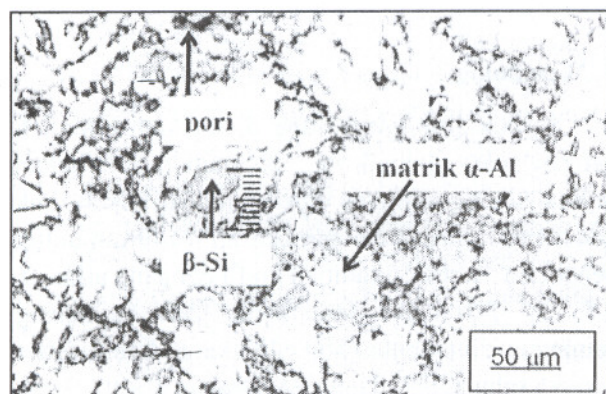
Tabel 1. Data hasil uji komposisi paduan Al-Si

No	Unsur	Bahan awal	serbuk	No	Unsur	Bahan awal	serbuk
		hasil cor				hasil cor	
		% berat	% berat			% berat	% berat
1	Al	86.450	85.670	7	Cr	0.0372	0.0292
2	Si	9.4300	9.3200	8	Ni	0.0516	0.0564
3	Fe	1.8859	2.2077	9	Pb	0.1888	0.1844
4	Cu	0.6362	0.7525	10	Sn	0.0197	0.0197
5	Mn	0.1251	0.1086	11	Na	0.0154	0.0011
6	Mg	0.0117	0.0131	12	Ca	0.0087	0.0017

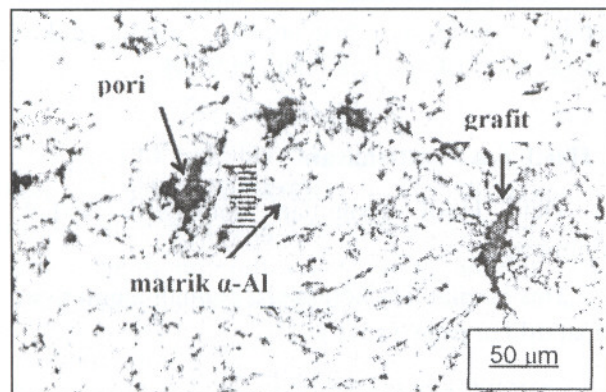
Distribusi dan bentuk serbuk

Aluminium serbuk yang telah dibuat dengan pengikiran dicari distribusi ukuran dengan metode *sieving*. Distribusi serbuk merupakan tipe Gaussian yaitu serbuk terdistribusi secara normal. Berdasarkan kriteria tersebut, dipilih serbuk dengan ukuran < 149 μm . Sedang jumlah kumulatif adalah 25% berat, serbuk ini yang dipilih untuk digunakan sebagai bahan penelitian.

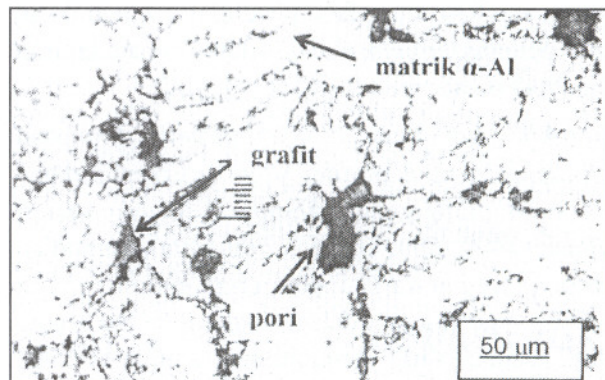
Pengamatan struktur mikro



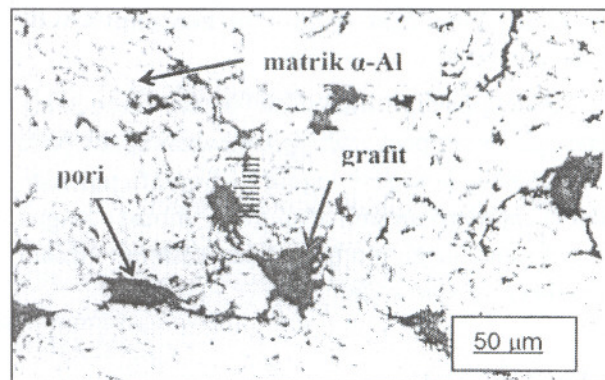
(a) 0% berat grafit



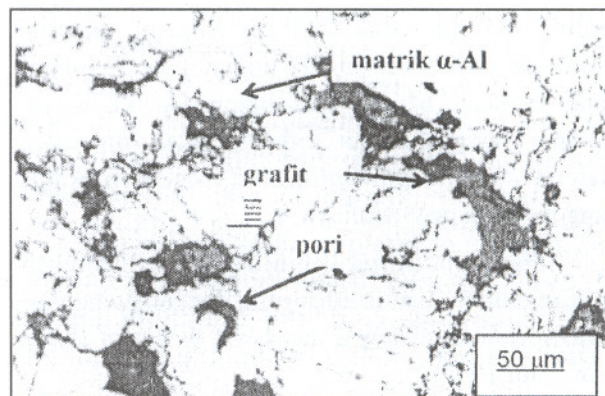
(b) 2,5% berat grafit



(c) 5% berat grafit



(d) 7,5% berat grafit



(e) 10% berat grafit

Gambar 1. Foto struktur mikro koinposit Al-grafit

Foto mikro spesimen dengan variasi penambahan grafit paduan Al-9%Si ditunjukkan pada Gambar 1, terlihat bahwa kandungan grafit terdistribusi merata pada masing-masing spesimen. Pada spesimen dengan kandungan grafit diatas 5% berat terlihat bahwa beberapa partikel grafit bergabung menjadi satu dan membentuk partikel yang agak besar.

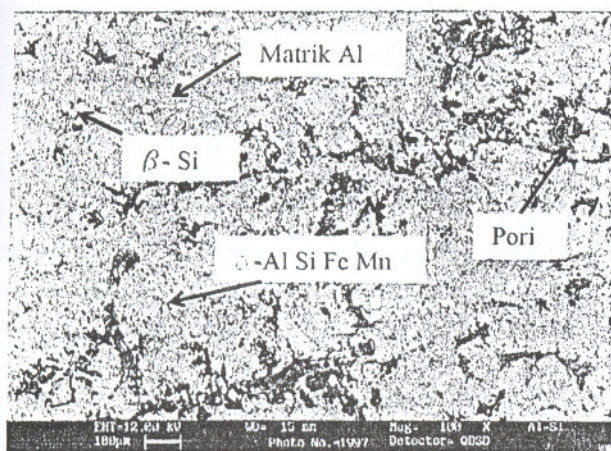
Gambar 2(a) menunjukkan foto hasil SEM untuk spesimen Al-Si tanpa penambahan grafit dan Gambar 2(b) menunjukkan foto SEM spesimen Al-Si/5% grafit. Dari gambar tersebut terlihat fasa-fasa yang terdapat dalam matrik logam Al. Pada Gambar 2(a) terlihat batas antar partikel Al sebagian telah tersinter sempurna dan sebagian lagi masih terlihat ada batas antar partikel.

Proses sinter masih dalam tahapan *intermediate* dimana telah terjadi pertumbuhan

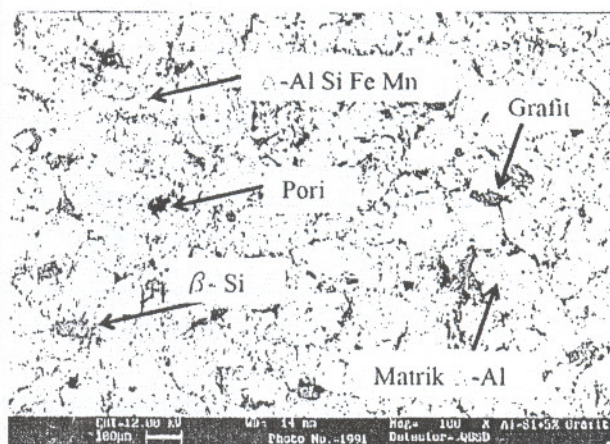
batas butir dan menyusutnya porositas. Sedangkan pada spesimen dengan penguat (Gambar 2(b)) terlihat serbuk grafit mengisi tempat-tempat porositas yang terjadi pada *interface*. Hal ini sangat menguntungkan karena porositas menjadi berkurang sehingga densitas relatif komposit menjadi lebih besar.

Analisa fasa

Untuk mengamati *interface* antar matrik dan penguat serta analisis unsur dari spesimen struktur difoto menggunakan SEM hingga perbesaran 4000X yang dapat dilihat Gambar 3 dan dianalisis dengan EDX. Hasil analisis dengan menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*) pada bagian yang diberi tanda A, B dan C seperti ditampilkan pada Tabe 12.



(a) paduan Al tanpa grafit

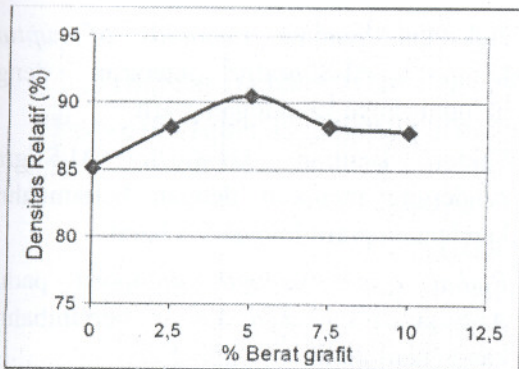


(b) komposit Al/5%grafit

Gambar 2. Foto SEM struktur mikro komposit Al/grafit pada tekanan kompaksi 500 MPa suhu sinter 550°C selama 5 jam

Tabel 2. Hasil analisa EDX dari Gambar 3

A		B		C	
Unsur	% berat	Unsur	% berat	Unsur	% berat
C	0,90	C	0,78	C	67,31
Al	64,81	O	1,11	O	26,86
Si	14,90	Al	91,26	Al	4,41
Mn	0,34	Si	6,85	Si	1,42
Fe	19,06				

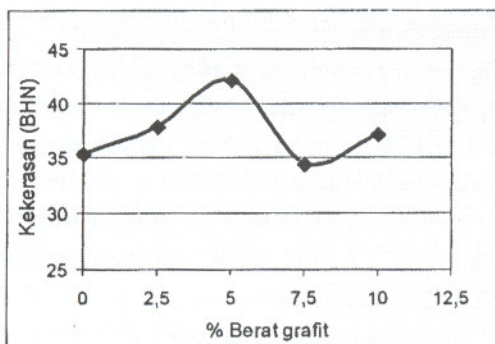


Gambar 5. Grafik pengaruh penambahan grafit terhadap densitas relatif spesimen yang disinter pada T 550°C .

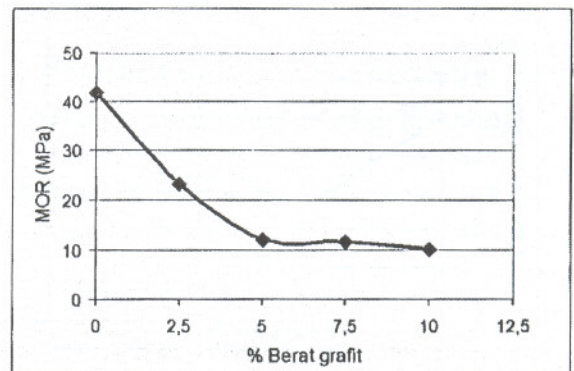
Hasil pengujian kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 6. Pengaruh penambahan grafit akan meningkatkan kekerasan, kekerasan tertinggi adalah 42,15 HBN pada penambahan grafit sebesar 5% berat. Pada komposit dengan kandungan grafit di atas 5% berat kekerasannya cenderung menurun, karena grafit memiliki kekerasan yang rendah (2 pada skala Mohs) (WOD, 2005).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan grafit meningkatkan kekerasan dan mencapai maksimum pada 5% berat, hal ini menunjukkan adanya partikel keras yang terbentuk selama proses sinter. Dari pengujian EDX dan XRD ditemukan adanya senyawa Al_4C_3 , senyawa tersebut terbentuk akibat reaksi antara Al dan C selama pemanasan (sinter). Hal tersebut juga dikemukakan oleh Arik dan Bagci (2003) serta Chudk (2001) selama proses sinter terjadi reaksi *in-situ* antara Al dan C yang terjadi pada *interface* antar Al dan C.



Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan grafit terhadap kekerasan



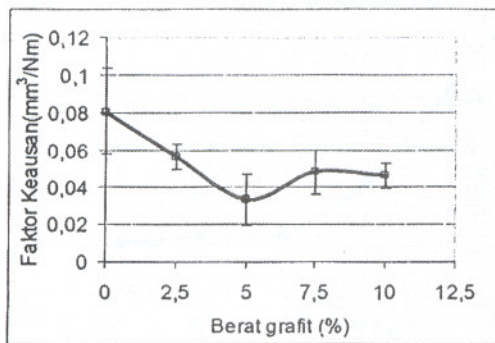
Gambar 7. Grafik pengaruh penambahan grafit terhadap MOR.

Hasil pengujian bending

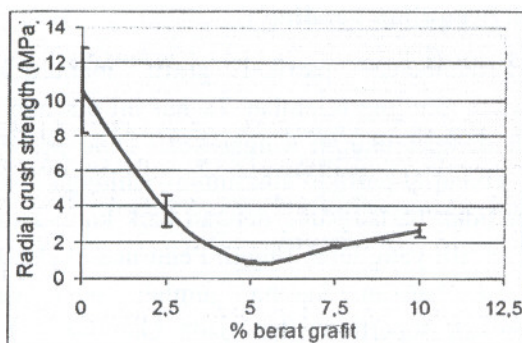
Penambahan partikel grafit menurunkan kekuatan bending (Gambar 7), hal ini disebabkan grafit dengan ukuran sangat kecil (*fine powder*) menyelubungi partikel aluminium sehingga proses sinter tidak berlangsung dengan baik karena suhu sinter grafit yang lebih tinggi. Penurunan kekuatan bisa disebabkan karena jumlah pori yang bertambah seperti terlihat pada Gambar 1. Pori merupakan sumber awal kerusakan atau akan menyebabkan penurunan kekuatan. Adanya grafit yang mengumpul dan porositas yang terdapat pada spesimen merupakan awal terjadinya perpatahan.

Hasil pengujian keausan

Gambar 8 menunjukkan grafik faktor keausan yang diuji dengan metode *pin on abrasive disc*. Faktor keausan diukur dengan menghitung berat spesimen yang hilang akibat abrasi oleh kertas amplas grade 1000 pada piringan yang berputar (670 rpm). Jarak abrasi yang ditempuh 100 m, dengan beban 1,91 N. Faktor keausan terendah terjadi pada komposit Al-Si/5% berat grafit. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian kekerasan, dimana kekerasan tertinggi pada komposit Al-Si/5% berat grafit. Penambahan grafit cenderung menurunkan laju keausan, hal ini karena pengaruh dari sifat *self lubrication* grafit. Menurut Hatching (2000) grafit memiliki sifat *self lubrication* yang merupakan pelumas kering.



Gambar 8. Grafik pengaruh kandungan grafit terhadap faktor keausan, dengan metode *pin on abrasive disc*



Gambar 9 Grafik pengaruh kandungan grafit terhadap tegangan radial *bushing*.

Pengujian radial crush strength bushing

Bushing dibuat pada komposit dengan 0; 2,5; 5; 7,5 dan 10% berat grafit dengan tekanan kompaksi 500 MPa. Hasil pengujian *radial crush strength* pada *bushing* ditampilkan pada Gambar 9. *Radial crush strength* tertinggi sebesar 10,7 MPa diperoleh pada spesimen tanpa grafit. *Radial crush strength* terendah sebesar 0,9 MPa terjadi pada spesimen dengan kandungan grafit 5% berat.

5. Kesimpulan

1. Penambahan partikel grafit hingga 5% berat meningkatkan densitas relatif komposit Al-Si/grafit.
2. Kekerasan optimal diperoleh pada komposit Al-Si/grafit dengan kandungan 5% berat grafit yaitu sebesar 42,15 BHN.

3. Kekuatan bending (*modulus of rupture*) komposit Al-Si/grafit menurun dengan bertambahnya kandungan grafit.
4. Faktor keausan komposit Al-Si/grafit cenderung menurun dengan bertambahnya kandungan grafit hingga 5% berat.
5. *Radial crush strength* komposit paduan Al-Si/grafit menurun dengan bertambahnya kandungan grafit.

Daftar Pustaka

- Arik, H dan Bagci, C., 2003, "Investigation of Influence of Pressing Pressure and Sintering Temperature on the Mechanical Properties of Al/ Al_4C_3 Composites Materials", *Turkish Journal Eng. Env. Sci, Tubitak*, 27 pp 53-58.
- Barsoum, M. W., 1997, *Fundamentals of Ceramics*, Mc Graw-Hill Book Co New York.
- Chu, H., Kuo, S. L., and Jien, W.Y., (2001)., "Damping Behavior of in-situ Algraphite, Al_4C_3 Composites Produced by Reciprocating Extrusion" Department of Materials Science and Engineering, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, Republic of China., *Journal of Material Research*, No.: JA105-025 MRS USA.
- German, R. M., 1984, *Powder Metallurgy Science*, Metal Powder Industries Federation, Princeton New Jersey.
- Green, D. J., 1998, *An Introduction to the Mechanical Properties of Ceramics*, Cambridge University Press.
- Hatching, L, 2000, *Tribology Friction Wear and Lubrication*, Arnold publisher, London.
- Silvain, J.F., Proultb A, Lahayea M, Douinc J, *Microstructure and Chemical Analysis of C/Cu/Al Interfacial Zones*. Institut de Chimie et de la Matie're Condense e de Bordeaux, France. Elsevier Journal of Composites:Part A 34 (2003) 1143-1149 www.elsevier.com/locate/compositesa.
- WOD, 2005, *Graphite*, INSEAD.